



TITLE:

強磁性金属多層膜における電流誘起の有効磁場に関する研究(
Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

河口, 真志

CITATION:

河口, 真志. 強磁性金属多層膜における電流誘起の有効磁場に関する研究. 京都大学, 2016, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2016-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19514>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開

(続紙 1)

京都大学	博 士（理 学）	氏名	河 口 真 志
論文題目	強磁性金属多層膜における電流誘起の有効磁場に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>近年、電子のスピンを制御する方法として、スピン軌道相互作用が注目を集めている。スピン軌道相互作用はスピンと軌道角運動量の相互作用を指すが、ここではより広い意味として電子のスピンと運動量の相互作用のことも含んでいる。スピン軌道相互作用ではスピンと運動量が結びつくため、強磁性体がなくとも電子の運動、例えば電流の制御のみによってスピンの制御が可能となる。本研究では、スピン軌道相互作用が原因となって発現する様々な物理現象の中でも、強磁性金属多層膜において観測される電流に誘起される有効磁場に焦点をあてた。</p> <p>強磁性金属多層膜において、例えばPt/Fe/MgOのような重い非磁性金属/強磁性金属/絶縁層という非対称な構造を持っている場合に、二種類の有効磁場が電流に誘起されることが明らかとなってきた。これら電流誘起の有効磁場は、その大きさがアンペールの法則から導き出される、電流が作る古典的な磁場の大きさに比べて1桁から3桁大きい値が報告されている。このため、これらの有効磁場は新しい高効率な磁化制御方法として期待され盛んに研究が行われている。当初これら二つの有効磁場の起源についての説明としてそれぞれラシュバ効果とスピンホール効果というスピン軌道相互作用が関係する効果が論じられていた。しかし、その後の様々な報告によって有効磁場発生の機構は当初考えられていたほど簡単ではないことが明らかとなってきた。本研究はその有効磁場の起源に迫り、スピン軌道相互作用を利用した新たなスピントロニクスの可能性を切り拓くとともに、基礎的な物理的知見を深めることを目的として行った。</p> <p>本研究では強磁性層としてFeを用いた強磁性金属多層膜を舞台として研究を行った。まず、より良い有効磁場の測定方法の確立を目指した。有効磁場の大きさを決定する手段として用いることができる方法の一つが電氣的測定である。有効磁場は磁化の向きを変化させる。磁化はスピン軌道相互作用を通して電子の散乱に影響を及ぼし、磁化の方向によって抵抗が変化する。それを利用することで電氣的な測定から磁化の変化、そして有効磁場を見積もることが可能となる。本研究では直流電流を用いたホール測定によって有効磁場を見積もる方法を考案し、その方法を評価した。半導体基板GaAs上にスパッタ製膜されたFeを強磁性層とした強磁性金属多層膜を細線状に加工し、電流を流しながらホール電圧を測定した。このとき、多層膜面内方向へ外部磁場を印加してホール抵抗の外部磁場角度に対する依存性を調べた。ホール抵抗の電流方向による差分について異常ホール効果やプレナーホール効果を議論することで、二つの有効磁場を独立に決定することが可能であることを示し、実際にその大きさを見積もった。その結果は、他の方法による先行研究の結果と概ね一致を示し、この方法が有効磁場を測定することに対して有効であることを示した。この方法を以降の測</p>			

定で用いている。

次に、有効磁場測定における熱の影響を調査した。有効磁場測定でしばしば用いられる輸送測定においては、電流を流す必要から発熱の影響に注意しなければならない。特に、強磁性体中において温度勾配がある場合に磁化の作用によって電圧が生じる異常ネルンスト効果は有効磁場の測定結果に影響を及ぼす可能性がある。そこで、この異常ネルンスト効果の影響を取り除く方法を考案した。確立した強磁性金属多層膜における有効磁場測定において外部磁場強度に着目した。外部磁場強度と誘起される電圧の関係を議論することで、有効磁場による磁化の変化から誘起されるホール電圧の変化は外部磁場強度に対する依存性を持つことに対して、異常ネルンスト効果によって誘起される電圧はその依存性を持たないことを示した。実際に有効磁場測定を行い、異常ネルンスト効果の寄与を分離することに成功した。その結果は、有効磁場の見積もりに対して最大で50%ほどの誤りを生じさせることがわかった。この結果によってより正確に有効磁場を測定することが可能となった。

最後に、確立した有効磁場の測定方法を用いて、金属多層膜であるTa/Pt/Fe/MgOにおいてFe強磁性層の膜厚を変化させて有効磁場を測定した。本実験においては二種類の有効磁場はそれぞれ面内の有効磁場と面直の有効磁場として現れる。これら二つの有効磁場それぞれについてFe層の膜厚に対する依存性が見られた。超伝導量子干渉計による磁化測定の結果と有効磁場測定の結果から有効磁場と磁化の関係を議論した。その結果、これら二つの有効磁場について、面直の有効磁場はスピホール効果によって説明できるものの、面内の有効磁場にはそれだけでは説明できない寄与があることが明らかとなり、ラシュバ効果との関係が示唆される結果となった。この結果は、有効磁場について新たな知見となり、有効磁場の物理的起源に迫る手がかりとなることが期待される。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は「電流誘起の有効磁場の輸送測定による決定方法」、「スピン軌道トルクの測定における異常ネルンスト効果の抽出」、「強磁性多層膜における電流誘起の有効磁場の膜厚依存性」の三つの内容から構成されている。

「電流誘起の有効磁場の輸送測定による決定方法」では、強磁性金属多層膜において電流に誘起される有効磁場の測定方法について研究を行った。GaAs基板上にスパッタによって製膜した試料について細線状に加工した後、電気輸送測定を行った。このとき、ホール抵抗に着目し、外部磁場を角度掃引したときの抵抗変化から、二つの有効磁場を独立に決定する方法を考案した。この方法を用いて多層膜の有効磁場を決定し、先行研究に示された値と大まかに一致することを確かめた。

「スピン軌道トルクの測定における異常ネルンスト効果の抽出」においては有効磁場測定における熱の影響を評価した。抵抗変化の外部磁場の大きさに対する依存性から、有効磁場による寄与と電流によって生じる熱による起電力による寄与をそれぞれ独立に決定することに成功した。これによって、電氣的測定を用いて有効磁場を決定する場合に一般的に生じる熱の影響を見積もることができるようになり、より正確な測定が可能となった。

「強磁性多層膜における電流誘起の有効磁場の膜厚依存性」においては、開発した有効磁場の測定方法を用いてFeを強磁性層とする金属多層膜について、有効磁場のFe膜厚依存性を調査した。その結果、二つの有効磁場のFe膜厚に対する依存性が異なることがわかり、それぞれの起源が異なっていることが示唆された。特に多層膜面内方向に生じる有効磁場について、スピンホール効果では説明できない寄与があることが明らかとなった。

本研究では有効磁場の測定方法の確立、そしてより正確な測定を可能とするための熱の影響の評価を行い、有効磁場の多層膜構造への依存性を調査することで、電流に誘起される有効磁場の起源について新たな知見を得ることができた。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成28年1月12日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降